

Electron Microscopy 5.0

—日本の科学技術・産業を駆動する新世代電子顕微鏡—

日本顕微鏡学会

プロジェクト推進委員会

EM 5.0 –コンセプト

電子顕微鏡は、最初の開発から既に89年が経過し、2031年には100周年を迎える。その間、いくつかの技術革新によって絶えず進化し、科学全般・産業の発展に大きく貢献してきた。電子顕微鏡開発の歴史を振り返ると、大きく分けて**4つの技術革新**があり、その度に電子顕微鏡の性能・観察技術が飛躍的に向上した。その結果、科学上の様々な発見、原理解明及びイノベーションが電子顕微鏡によって実現している。つまり、**新しい電子顕微鏡の開発は、常に科学技術分野発展の原動力を担ってきたといっても過言ではない。**よって、日本が科学技術分野において今後とも世界を先導するためには、**世界に先駆けて電子顕微鏡分野に5つ目の技術革新をもたらし、これまで不可能であった観察・分析技術を実現する**ことが極めて重要であると考えられる。すなわち、**Electron Microscopy 5.0**とも呼ぶべき電子顕微鏡の新時代を世界に先駆けて切り拓くことが、日本の科学技術分野の最重要課題であることを日本顕微鏡学会として提言する。

EM 5.0 ーコンセプト

	時期	技術革新	科学・産業上の貢献
EM 1.0 黎明期	1930年代- 60年代	<ul style="list-style-type: none">・真空、電子銃、レンズ、フィルム・明視野、暗視野法・試料作製技術	<ul style="list-style-type: none">・転位の発見・ウィルスの発見・材料組織の理解
EM 2.0 高分解能観察	1970年代- 90年代	<ul style="list-style-type: none">・低収差対物レンズ・高輝度電子銃・高分解能電子顕微鏡法・像形成理論、シミュレーション	<ul style="list-style-type: none">・原子構造の観察・ナノ材料の発見・界面、表面観察・クライオ観察
EM 3.0 局所分析	1980年代- 90年代	<ul style="list-style-type: none">・TEM-EDS分析の確立・TEM-EELS分光の確立・分析電子顕微鏡理論の確立	<ul style="list-style-type: none">・定性→定量評価・半導体、素材産業での応用・局所における組成分析 電子状態解析
EM 4.0 収差補正	2000年代- 現在	<ul style="list-style-type: none">・収差補正技術・STEM法の確立、普及・分析の原子分解能化・原子1個の可視化、分析・高分解能3次元観察	<ul style="list-style-type: none">・原子直視観察・H、Liなどの直接観察・グラフェン、ナノチューブ・その場観察、触媒・クライオTEMの普及
EM 5.0 ハード・ソフトの高度融合	現在 -10年後	<ul style="list-style-type: none">・新対物レンズ、新電子銃・超高次・色収差補正・超高感度カメラ、検出器・超安定実環境ホルダー・AI技術の活用、新像形成理論・自動補正・自動観察、ビッグデータ	<ul style="list-style-type: none">・原子、分子結合の可視化・化学反応の可視化・3次元全原子立体構造観察・生体、有機分子の原子直接観察

E.M. 5.0 - ハード・ソフトの高度融合のイメージ

・ハード+ハードの高度融合

(次世代対物レンズ+高次収差補正、次世代電子銃+次世代カメラ・検出器、TEM+SPM、4D STEM+スパコン、MEMS+TEMなどハード同士の融合)

・ソフト+ソフトの高度融合

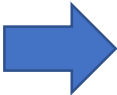
(マルチスライス+DFT、EELS解析ソフト+スペクトル計算などソフト同士の融合、実験時のリアルタイム高速データ解析)

・ハード+ソフトの高度融合

(最先端収差補正+機械学習による全自動調整、スパーススキャン+情報科学的手法による低ドーズ化など)

・ソフト+ハードの高度融合

(電子顕微鏡オペレーションソフトのオープンソース化による最先端ソフトウェアの活用、ビッグデータ解析手法との連携、AIによる全自動オペレーションなど)

 **要素技術として個別に開発が進む最先端ハードとソフト技術を高度に融合し、電子顕微鏡分野に技術革新をもたらす**

- ① 従来の性能限界を打ち破る「世界新」を目指す開発
- ② 新たな科学分野を切り開く「世界初」を目指す開発
- ③ 出口アプリケーションを見据えた「応用」を目指す開発
- ④ 社会、産業界において即戦力となる「実用」を目指す開発
- ⑤ あらゆる分野の研究者に門戸を開く「利便性」を目指す開発
- ⑥ 国際ネットワークのハブとなる「世界拠点」を目指す開発
- ⑦ 次代を担う若手研究者を養成する「若手育成」に資する開発



本基本開発コンセプトをベースとして、
11の具体的な開発装置を提案

EM 5.0 ー具体的な電子顕微鏡開発項目

① 世界最高空間分解能電子顕微鏡の開発

→原子、分子結合の可視化、原子振動の直接観察

② 超時間分解能パルス電子顕微鏡の開発

→化学反応の可視化、相変態現象・局所ダイナミクスの可視化
ダメージレス高分子・生体試料観察

③ 超高感度位相計測電子顕微鏡の開発

→原子分解能電磁場計測、トポロジカル・量子材料現象観察

④ ソフトマテリアル用電子顕微鏡の開発

→電子染色不要の高コントラスト観察、分子振動情報(化学結合)
のナノスケールマッピング

⑤ その場・オペランド観察電子顕微鏡技術の開発

→真のオペランド条件における原子レベル観察

⑤-1 触媒解析への展開

EM 5.0 —具体的な電子顕微鏡開発項目

⑥ 次世代3次元電子顕微鏡の開発

→3Dアモルファス原子構造、3D弾性ひずみ場、
3D不可逆過程（変形、加熱・冷却、量子線照射）

⑦ 自動撮影クライオ電子顕微鏡&回折計の開発

→自動での単粒子解析の像撮影・トモグラフィー・電子線回折回転測定

⑧ 電子顕微鏡次世代試料作製技術の開発

→アーティファクト無しでの電子顕微鏡観察を可能とする、
高効率な試料作製技術の開発

⑨ 次世代半導体用電子顕微鏡の開発

⑩ 量子電子顕微鏡の開発

⑪ アト秒パルス電子線の開発

EM 5.0 – オールジャパン体制での開発ネットワーク

- 大学、主要研究機関で合計5～10台の装置開発
- 各機関の研究シーズに特化した世界No1装置
- 予算規模 1台につき10億程度
- 開発装置は完成後ナノプラなどの共用事業に利用
- 次代を担う若手研究者の育成にも尽力

日本顕微鏡学会
プロジェクト推進委員会

柴田直哉 (東京大学)
荒河一渡 (島根大学)
陣内浩司 (東北大学)
大島義文 (北陸先端大学)
木本浩司 (NIMS)
橋本綾子 (NIMS)
桑原真人 (名古屋大学)
吉田 要 (JFCC)
米倉功治 (理研)
波多 聡 (九州大学)
沢田英敬 (日本電子)
谷垣俊明 (日立)



オールジャパン開発体制の構築

日立ハイテク

日本電子株式会社

etc

波及効果のイメージ(素材産業の例)



(公社) 日本顕微鏡学会 会長

幾原雄一 (東京大学大学院工学系研究科教授)

TEL: 03-5841-7688 / FAX : 03-5841-7694

E-mail: ikuhara@sigma.t.u-tokyo.ac.jp

(公社) 日本顕微鏡学会 常務理事

柴田直哉 (東京大学大学院工学系研究科教授)

TEL: 03-5841-0415 / FAX : 03-5841-0503

E-mail: shibata@sigma.t.u-tokyo.ac.jp

(公社) 日本顕微鏡学会 事務局

〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-21-13

廣池ビルディング4階2号室

TEL : 03-6457-5156 / FAX : 03-6457-5176

E-mail: jsm-post@microscopy.or.jp